



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA PROFESIÓN**

**PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**Influencia de una dieta con carotenoides en el ciclo
biológico del mexcalpique *Girardinichthys viviparus***

PRESENTA EL ALUMNO

Luis David Escamilla Ramírez

Matrícula: 2172029740

ASESORES:

**Dra. Gabriela Vázquez Silva (No. Eco. 30288)
Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura**

**Biol. Ana Karen López de la Rosa (Céd. Prof. 12194410)
Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura**

Ciudad de México

Febrero, 2024.

Resumen

La Zona Lacustre de Xochimilco es un ecosistema de gran importancia ecológica que alberga especies endémicas como el *Girardinichthys viviparus*. Las poblaciones del mexcalpique han disminuido significativamente debido a la explotación, contaminación y la introducción de especies exóticas, llevándolo a estar en peligro de extinción de acuerdo con la SEMARNAT y la Lista Roja de la IUCN. Algunas colonias de estos peces se mantienen en cautiverio para su conservación *ex situ*. Con la incorporación de carotenoides, se busca mantener los ciclos biológicos de los organismos, ya que no pueden ser sintetizados por ellos y deben ser adquiridos a través de la dieta. La Astaxantina es un importante carotenoide que puede mejorar la calidad del alimento fortaleciendo la respuesta inmune y fisiológica de los peces, tiene propiedades antioxidantes y es precursora de la vitamina A, lo que mejora la supervivencia de los peces. Para la investigación se seleccionaron parejas reproductoras de mexcalpique, las cuales fueron monitoreadas diariamente hasta detectar el punto grávido de las hembras y una vez identificadas, se colocaron en maternidades hasta el nacimiento de las crías (F1), para su posterior selección y distribución en el ensayo de dieta. El experimento de alimentación de la F1 duró 75 días, se distribuyeron un total de 64 alevines en 16 Unidades Experimentales (UE) con cuatro tratamientos de astaxantina (0, 500, 750 y 1000 mg) y cuatro repeticiones cada una. La Astaxantina se añadió diariamente al alimento, ajustando las dosis quincenalmente según la biomasa. Cada quince días se registró el peso y talla de los alevines y se calculó el porcentaje de supervivencia hasta la madurez sexual y se continuó proporcionando la dieta con Astaxantina a la siguiente generación (F2) en donde se distribuyeron 80 crías en 16 Unidades Experimentales (UE) con cuatro tratamientos de astaxantina (0, 500, 750 y 1000 mg) con cuatro repeticiones cada una y se determinaron las variables productivas como en la F1. Asimismo, se determinaron los parámetros fisicoquímicos de cada experimento. Para ambas generaciones no se observaron efectos significativos ($P < 0.005$) en las variables productivas, sin embargo, se observó una tendencia en el incremento de peso y talla del mexcalpique en la dosis de 750 mg para la F1 y en la dosis de 1000 mg para la F2 lo que sugiere que la Astaxantina puede contribuir a un mayor crecimiento y supervivencia del mexcalpique ya que además los parámetros fisicoquímicos no se vieron afectados con la inclusión del caroteno a la dieta.

Palabras clave: astaxantina, antioxidantes, dieta, conservación, mexcalpique

ÍNDICE

1.	Introducción.....	4
2.	Lugar de realización del servicio social.....	7
3.	Marco institucional	7
4.	Objetivo general del proyecto de investigación	8
5.	Objetivo general del servicio social	8
6.	Descripción específica de las actividades desarrolladas	8
6.1	Selección y reproducción de adultos de <i>G. viviparus</i>	9
6.2	Ensayo de alimentación de <i>G. viviparus</i> con Astaxantina.....	9
6.3	Cálculos y análisis estadístico	10
6.4	Resultados obtenidos de las actividades realizadas.	10
6.4.1	Alimentación de alevines (F1) de <i>G. viviparus</i> con Astaxantina.....	12
6.4.2	Alimentación de alevines (F2) de <i>G. viviparus</i> con Astaxantina.....	18
6.4.3	Patrones de coloración de las diferentes generaciones (F1 y F2) de Mexcalpique.....	24
7.	Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios	26
8.	Referencias	28
9.	Visto bueno	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

La Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX) es un ecosistema que se encuentra en la Ciudad de México que está conformada por una red de canales y pequeños lagos con gran importancia cultural y ecológica, además alberga especies endémicas como son el charal *Chirostoma jordani*, mexcalpique *Girardinichthys viviparus* y ajolote *Ambystoma mexicanum*. Este ecosistema actualmente se alimenta principalmente con aguas tratadas provenientes de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella, por lo que la calidad del agua se ha ido deteriorando con el tiempo, asimismo por el vertido de desechos provenientes de los asentamientos urbanos y de la actividad agrícola (Bojórquez y Arana, 2014).

Aún con estas características en el ecosistema, en esta área se encuentra registrado un pez con gran importancia biológica y cultural, cuya especie es *Girardinichthys viviparus*, conocida comúnmente como mexcalpique. Este pez fue descrito en 1837 por Miguel Bustamante nombrándola como *Cyprinus viviparus*, pero fue hasta 1957 que Álvarez del Villar y Navarro le dieron el nombre de *Girardinichthys viviparus*, que pertenece a la familia Goodeidae la cual está integrada por 19 géneros y 41 especies, de las cuales el 32% tiene un alto grado de endemismo (Gaspar-Dillanes, 2005; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2008; Bojórquez y Arana, 2014). El mexcalpique es endémico de la Mesa Central del Altiplano Mexicano en específico, de los sistemas dulceacuícolas en los que predominan aguas lénticas con abundante vegetación (Miller *et al.*, 2009). Históricamente, sus poblaciones se encontraban distribuidas en la Zona Lacustre de Xochimilco, Lago de Chapultepec y lagos de Chalco, Zumpango y Texcoco (Gómez-Márquez *et al.*, 2013; Bojórquez y Arana, 2014). Sin embargo, factores como la explotación para consumo humano, así como su venta accidental como pez forrajero,

deterioro de los cuerpos de agua, desecación de ríos y lagos, contaminación del ecosistema, introducción de especies exóticas han causado la disminución, extirpación y extinción de sus poblaciones en vida silvestre (Navarrete *et al.*, 2003; Bojórquez y Arana, 2014; Vázquez-Silva *et al.*, 2018). Debido a lo anterior se considera una especie en peligro de extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010; mientras que en la Lista Roja de Especies Amenazadas (DOF, 2010; IUCN, 2023).

G. viviparus posee características únicas que lo hacen una especie de gran interés para su estudio, debido a que es una especie vivípara, omnívora, con dimorfismo sexual y además presenta cortejo prenupcial. La reproducción suele ocurrir durante todo el año en condiciones de cautiverio, mientras que en vida silvestre se lleva a cabo en los meses de febrero y octubre. La mayoría de las crías nacen en mayo y junio, posiblemente debido al clima cálido de estos meses. Cuando la temperatura desciende por debajo de los 19°C, se ha observado una menor tasa de reproducción (Bautista-Hernández *et al.*, 2008). Las hembras suelen ser, en general, más grandes que los machos, ambos presentan una coloración verde oliva brillante con franjas oscuras en los costados. Sin embargo, durante ciertas etapas de su ciclo de vida, pueden cambiar su coloración a un tono más oscuro sobre todo cuando las hembras se encuentran receptivas, mientras que los machos desarrollan una coloración negra en las aletas dorsal y anal (Navarrete *et al.*, 2003; Bojórquez y Arana, 2014). Otra característica importante y peculiar de la especie es que los machos poseen una modificación en la aleta anal, llamada espermatopodio, el cual funciona como órgano copulador. Cuando ocurre la fecundación en las hembras se puede observar el vientre abultado y una mancha genital oscura que indica estado de gravidez, las crías se desarrollan dentro de la hembra y transcurrido el tiempo de gestación nacen, otra característica que los distingue es que presentan superfetación la cual se refiere a la presencia de embriones en diferentes estados de desarrollo, debido a la fertilización de los óvulos en diferentes tiempos, por lo que en una hembra puede haber más de una camada con diferentes etapas de desarrollo (Navarrete-Salgado *et al.*, 2004; Bautista-Hernández *et al.*, 2008; Miller *et al.*, 2009; Montesino-González, 2013; Bojórquez y Arana, 2014). Las hembras adultas suelen medir de longitud total entre 30 y 45 mm y pueden

tener entre 8 a 32 crías, con un promedio de 17 alevines, se menciona que existe una relación entre el tamaño de la hembra con el número de crías que suelen tener, ya que en hembras más grandes, el número de alevines puede llegar hasta 114, con un promedio de 48 crías, alcanzado la madurez sexual a una edad de tres a cuatro meses, iniciando el nuevo ciclo de reproducción, cabe mencionar que esta especie tiene una alta tasa de fecundidad (Bautista-Hernández *et al.*, 2008).

En cuanto a la alimentación *G. viviparus* en vida silvestre se alimenta de zooplancton, insectos y en menor cantidad de algas filamentosas. Mientras que, en cautiverio, se les proporciona una dieta mixta que consiste en proporcionar alimento comercial balanceado y alimento vivo, el suministrar una dieta variada beneficia a que se satisfagan las necesidades nutricionales necesarios para el buen crecimiento, sistema inmune y reproducción de los organismos, estudios acerca la alimentación en esta especie son nulos (Bautista-Hernández *et al.*, 2008; Vázquez-Silva *et al.*, 2018).

Un aspecto importante a considerar cuando se formulan dietas es el tipo y la cantidad de alimento que se proporcionará y esto va a depender del tipo de organismo, tamaño, edad y los hábitos alimenticios, por lo que se debe optar por la implementación de dietas equilibradas, además se debe contemplar la incorporación de aditivos alimenticios que mejoren la calidad del alimento y no afecten la calidad del agua, para así fortalecer la respuesta inmune y fisiológica de los animales acuáticos, además se reduce el uso de antibióticos para tratar enfermedades en la acuicultura (Hai & Fotedar 2015).

En la acuicultura la mayoría de los alimentos balanceados que son proporcionados a los organismos para su crianza, suelen tener una deficiencia de carotenoides, lo que se ha impactado negativamente en los cultivos generando enfermedades y teniendo un menor crecimiento y supervivencia (Quintana *et al.*, 2018). Los carotenoides suelen encontrarse en algas, plantas, hongos y bacterias, por lo cual no pueden ser sintetizados por los organismos y deben ser adquiridos a través de la dieta, una vez incorporados son absorbidos y pueden ser almacenados y utilizados por el hígado, músculos y piel, los carotenoides más utilizados son la Astaxantina y Cantaxantina y estos pueden ser de origen sintético o naturales (Meléndez *et al.*, 2007; Quintana *et al.*, 2018). La

incorporación de carotenoides en la dieta de peces ornamentales ha sido fundamental ya que potencializa el color de la piel haciéndolos aún más atractivos para su comercialización (Robaina *et al.*, 2017). En particular la Astaxantina, se caracteriza por tener propiedades antioxidantes y se encuentra en dos formas una libre y otra esterificada, además es precursora de la vitamina A, y cuando se incluye en la dieta actúa como estimulante de la respuesta inmunológica, y además se mejoran los parámetros de crecimiento y supervivencia (Quintana *et al.*, 2018). Un estudio realizado por Christiansen y Torrissen (1996) mencionan que al incluir una dieta suplementada con Astaxantina los niveles de las vitaminas A, E y C aumentaron en el salmón del Atlántico en comparación con los peces a los que no se les proporcionó la dieta con Astaxantina. Debido a lo anterior la inclusión de un caroteno como la Astaxantina a la dieta podría favorecer la reproducción, crecimiento y supervivencia del mexcalpique *G. viviparus*.

2. Lugar de realización del servicio social

El servicio social se desarrollará en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura ubicado en el edificio (W-002) con coordenadas 9°18'07.1"N 99°06'12.2"W; planta baja, en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, ubicada en la dirección Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, D.F. México.

3. Marco institucional

La Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco tiene como objetivo promover el conocimiento para el servicio y desarrollo social, con el fin de formar profesionales con habilidades y conocimientos que les permitan realizar actividades con un enfoque multidisciplinario, para así participar en el diagnóstico y gestión de las problemáticas de la sociedad. En este sentido, el objetivo de la Licenciatura en Biología es formar profesionales creativos y críticos capaces de realizar actividades científicas para desarrollar y evaluar con una perspectiva multidisciplinaria, estrategias de manejo de los recursos naturales bióticos, con base en metodologías propias de las ciencias biológicas. Por otra parte, la misión de la licenciatura es formar biólogos cuyas

habilidades, competencias y conocimientos les permitan participar en el diagnóstico, gestión y planeación del uso, conservación y restauración de los recursos naturales, mientras que la visión es ser reconocida como modelo a seguir, tanto a nivel nacional como internacional, en la enseñanza de la biología de los recursos naturales y su gestión (UAM-X, 2023).

4. Objetivo general del proyecto de investigación

Mantener los ciclos biológicos en cautiverio de las diferentes colonias de anfibios, crustáceos y peces establecidas en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura, para contribuir en su conservación y preservación de estas especies endémicas de México con interés ecológico y socioeconómico, enfatizando el manejo, alimentación y reproducción de *Ambystoma velasci*, *Ambystoma mexicanum*, *Cambarellus montezumae*, *Girardinichthys viviparus* y *Chirostoma jordani*.

5. Objetivo general del servicio social

Evaluar el crecimiento, éxito reproductivo y supervivencia de *Girardinichthys viviparus* con la adición de diferentes dosis de Astaxantina a su dieta, para su mantenimiento en cautiverio.

6. Descripción específica de las actividades desarrolladas

Las actividades del presente servicio social se realizaron en dos etapas; la primera correspondió a la selección y reproducción de adultos de *G. viviparus* de una colonia que procede originalmente de los Canales de Xochimilco y que se ha mantenido en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura de UAM-X, los cuales pertenecen a la “Colección biológica de algunas especies de peces y anfibios, endémicos y en peligro de extinción, de la Zona Lacustre de Xochimilco”, la segunda etapa fue el ensayo de alimentación de *G. viviparus* con dietas enriquecidas con Astaxantina.

6.1 Selección y reproducción de adultos de *G. viviparus*

Se realizó la selección y sexado de hembras y machos, considerando una talla entre 3 a 4.5 cm y que presentaran una coloración verde olivo intenso y maduros sexualmente, posteriormente fueron colocados en acuarios de 40L de capacidad dividiéndolos a la mitad con una malla de polietileno perforada de alta densidad, con agua libre de cloro y aireación constante, en una proporción de una hembra por un macho, teniendo un total de 20 Unidades Experimentales (UE), los reproductores fueron alimentados diariamente mediante tres raciones al día (9:00 am, 1:00 pm, 5:00 pm) con alimento marca El Pedregal® Trucha (40%; 0.3mm) a una tasa de alimentación del 7% la cual se modificó de acuerdo a la biomasa de los peces. A cada UE se le realizó mantenimiento, el cual consistió en hacer recambios de agua total y parcial (retirando el 50 % de agua) con un sifón, cada tercer día, esto para eliminar exceso de desechos y del alimento no consumido.

Diariamente se revisaron las hembras de cada UE hasta observar el punto grávido y partir del cual se comenzó a contar los días de gestación, una vez detectadas las hembras en estado de gravidez fueron separadas de los machos y colocadas en acuarios con capacidad de 40L acondicionado maternidades hasta el nacimiento de las crías. Posteriormente se contabilizó el número de alevines obtenidos de cada hembra y se les registró el peso y talla esto con fin de obtener una colonia de alevines de la misma edad y tamaño similar para su selección en el ensayo de alimentación.

6.2 Ensayo de alimentación de *G. viviparus* con Astaxantina

El experimento de alimentación tuvo una duración de 75 días, los alevines se distribuyeron completamente al azar, en 8 acuarios como UE con capacidad de 40 litros divididos en dos haciendo un total de 16 UE, cada UE tuvo una densidad de 4 alevines, divididos en cuatro tratamientos de Astaxantina (0, 500, 750, 100 mg) por cuadruplicado, la cual se añadió diariamente al alimento para alevín (El Pedregal® Trucha 40%; 0.3 mm). Las dosis de Astaxantina y alimento se calcularon con base a la biomasa de los alevines de mexcalpique y se ajustó quincenalmente. Los alevines fueron alimentados diariamente a una

tasa de alimentación del 20% proporcionado en tres raciones al día, en diferentes horarios (9:00 am, 1:00pm y 5:00pm). Cada tercer día se realizaron recambios de agua del 50% en cada una de las UE y se llenaron con agua libre de cloro, así mismo se retiraron excretas y alimento no consumido esto para evitar que los organismos se enfermen.

Cada quince días se registró el peso húmedo de los alevines con una balanza digital (OHAUS® con precisión de 0.0001 g) así mismo se registró la longitud total (LT; abarca de la cabeza hasta el final de la aleta caudal), la Longitud Estándar (LE; desde la cabeza hasta el final del pedúnculo caudal) y el Alto (A; a partir del dorso hasta la parte ventral) con un calibrador (Traceable®) y se calculó el porcentaje de supervivencia de alevines hasta su madurez sexual para su reproducción, y se obtuvo la siguiente generación hasta su edad reproductiva a la cual se le siguió proporcionando la dieta con Astaxantina. Quincenalmente se registró el pH (potenciómetro, Hanna Instruments, HI98103), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) (multiparamétrico, Hanna Instruments, HI83203-01) de cada UE, esto para monitorear la calidad del agua de cultivo.

6.3 Cálculos y análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se determinaron los parámetros de crecimiento como son:

- Ganancia Diaria de Peso: $GDP = \frac{(Pf - Pi)}{\text{Tiempo en días}}$ (Moreno-Álvarez *et al.*, 2000)
- Tasa Específica de Crecimiento: $TEC = \frac{\ln Pf - \ln Pi}{\text{Tiempo en días}} * 100$ (Wootton, 1991)
- Supervivencia: $\% S = \frac{N^\circ \text{ Final de organismos}}{N^\circ \text{ Inicial de organismos}} * 100$ (Arce y Luna, 2003)

Posteriormente, se comprobó la normalidad, homogeneidad y homocedasticidad de los datos y se comparó el efecto lineal y cuadrático para establecer las posibles diferencias entre los tratamientos ($P < 0.05$) JMP ® Software, SAS Institute) versión 7 (Sall *et al.*, 2012).

6.4 Resultados obtenidos de las actividades realizadas.

El aprendizaje obtenido de las actividades desarrolladas en el presente servicio social, incluyen el conocimiento sobre el manejo, mantenimiento, registro de biometrías, alimentación, cálculo de tasas de alimentación, determinar la calidad del agua de cultivo,

así como conocer el ciclo biológico de mexcalpique hasta obtener dos generaciones (F1, F2) y llevarlas a su etapa adulta. Por lo que, es importante generar estrategias que apoyen la conservación de una especie endémica de la Zona Lacustre de Xochimilco que se encuentra en peligro de extinción, ya que las poblaciones del mexcalpique en vida silvestre son escasas. Una parte importante para su manejo y mantenimiento en cautiverio fue la alimentación, la cual debe cubrir satisfactoriamente todos los requerimientos nutricionales para su buen desarrollo, sin embargo, en ocasiones el proporcionar un solo tipo de alimento no cumple con la aportación de nutrientes necesarios para los organismos, es por ello, que se deben buscar alternativas para complementar la dieta como lo fue en este trabajo donde la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina mostró resultados positivos en cuanto al crecimiento en peso y talla de los alevines de las diferentes generaciones obtenidas.

Como primer instancia se seleccionaron organismos reproductores de mexcalpique que contaban con las características fenotípicas necesarias para ser considerados para su reproducción, para lo cual se seleccionaron hembras (Figura 1) que presentaron un peso promedio de $445.5 \text{ mg} \pm 58.66$ y una longitud total de $33.23 \text{ mm} \pm 1.87$, longitud estándar de $27.8 \text{ mm} \pm 1.27$ y un alto de $8.1 \text{ mm} \pm 0.75$ mientras que el peso promedio de los machos fue de $369.05 \text{ mg} \pm 50.27$, una longitud total de $31.21 \text{ mm} \pm 1.75$, $26.03 \text{ mm} \pm 1.37$ de longitud estándar y $7.7 \text{ mm} \pm 0.57$ de alto. Así mismo se realizó el conteo de los días de gestación de las hembras en estado de gravidez hasta el día del alumbramiento, para lo cual se reportó que el período más corto de gestación registrado fue de 18 días y el más alto fue de 35 días.



Figura 1. Registro de biometría de hembras reproductoras *G. viviparus*. Foto tomada en el Laboratorio de Limnobiología y Acuicultura.

6.4.1 Alimentación de alevines (F1) de *G. viviparus* con Astaxantina

Los resultados de las variables productivas obtenidas con la aplicación de una dieta enriquecida con diferentes dosis de astaxantina para la primera generación (F1), se muestran en el cuadro 1, con un efecto positivo en la Ganancia Diaria de peso ($P < 0.05$), aunque en los demás parámetros no se observaron cambios relevantes, se registró una tendencia en el peso de los peces en el tratamiento de 500 mg de astaxantina, con el mayor incremento en peso comparado con los demás grupos experimentales. Respecto a la talla de los peces en los tratamientos fue muy similar ($P > 0.05$). En cuanto a la GDP esta fue mayor en la dosis de 500 mg, seguida de la dosis de 750 mg, y la dosis de 1000 mg, el grupo control ganó menor peso durante todo el experimento ($P < 0.05$). Para el caso de la TEC esta fue similar a la anterior variable mencionada, ya que la dosis de 500 mg tuvo mayor porcentaje de crecimiento y menor en el grupo control. En lo que respecta a la supervivencia, esta fue del 100% en el grupo de 1000 mg y de 43.75% en el grupo de 500 mg siendo en este tratamiento la supervivencia más baja.

Cuadro 1. Valores promedio del crecimiento de *G. viviparus* generación F1 alimentados con diferentes dosis de Astaxantina (P<0.05).

Variables	Tratamientos				P		
	Control	500 mmg	750 mg	1000 mg	EEM	L	C
Inicial							
<i>n</i>	16	16	16	16			
Peso (mg)	67.38 ± 9.7	64.50 ± 19.5	69.50 ± 16	60.69 ± 8.3	3.39	0.301	0.673
LT (mm)	17.26 ± 0.7	17.11 ± 1.1	17.29 ± 1	17.06 ± 1.06	0.257	0.608	0.231
LE (mm)	14.84 ± 0.81	14.44 ± 1.4	14.60 ± 0.98	14.49 ± 0.92	0.277	0.686	0.102
Alto (mm)	4.18 ± 0.29	4.08 ± 0.65	4.31 ± 0.64	3.89 ± 0.4	0.187	0.387	0.673
Final							
<i>n</i>	16	16	16	16			
Peso (mg)	188.50 ± 40.5	204.38 ± 48	203.06 ± 47.9	189.5 ± 48.7	11.04	0.933	0.112
LT (mm)	24.24 ± 1.6	24.53 ± 2.04	26.61 ± 2.05	24.12 ± 2	0.536	0.908	0.562
LE (mm)	19.88 ± 1.34	21.19 ± 2.66	21.16 ± 2.78	19.93 ± 1.76	0.544	0.967	0.418
Alto (mm)	6.11 ± 0.79	6.24 ± 0.94	6.28 ± 0.57	5.91 ± 0.61	0.183	0.885	0.342
GDP (g/día)	1.62 ± 0.59	1.87 ± 0.51	1.78 ± 0.54	1.72 ± 0.65	0.221	0.712	0.028
TEC (%/día)	1.02 ± 0.49	1.43 ± 0.5	1.11 ± 0.26	1.26 ± 0.41	0.156	0.118	0.663
S (%)	93.75	43.75	75	100			

n= Número de mexcalpiques por tratamiento, LT= Longitud Total, LE= Longitud Estándar, GDP= Ganancia diaria de peso, TEC=Tasa Específica de Crecimiento, S= Supervivencia; Análisis estadístico por Polinomios ortogonales L= Efecto lineal, C= Efecto cuadrático, EEM=Error estándar de la media.

En la Figura 2, se puede observar que durante los primeros quince días del experimento la dosis de 750 mg fue la que mostro un mayor incremento de peso siendo de 104.75 mg, seguido del grupo control con 101.50 mg; mientras que, la dosis de 500 mg y de 1000 mg fueron las que menor aumento de peso tuvieron en ese periodo con 88.50 mg y 87.75 mg respectivamente, esta tendencia se mantuvo hasta el día 45, partir de este día se observó que el tratamiento control se presentó una disminución del peso, posteriormente para el día 60 la dosis de 500 mg tuvo un incremento de peso siendo de 169.88 mg, comprado con el tratamiento control y la dosis de 1000 mg de astaxantina, sin embargo, la dosis de 750 mg siguió siendo el grupo en el que los alevines tuvieron mayor peso (176.06 mg), para el final del experimento estos valores se invirtieron ya que la dosis de 500 mg obtuvo un valor final de 204.38 mg, siendo ligeramente mayor ya que la dosis de 750 mg mostró valores de 203.06 mg, la dosis de 1000 mg fue de 189.5 mg y para el grupo control de 188.50 mg.

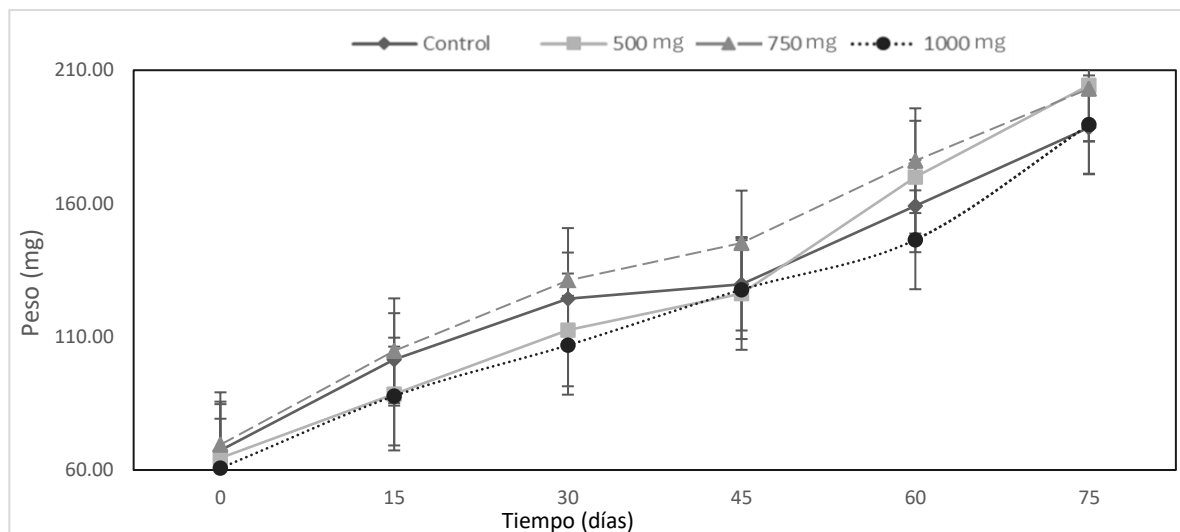
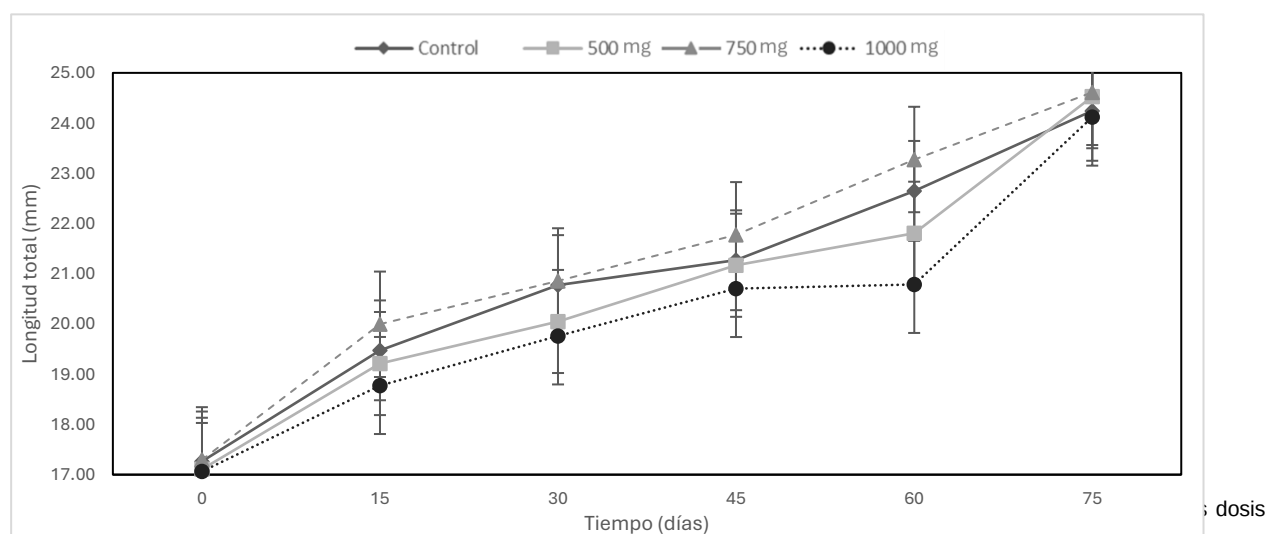


Figura 1. Crecimiento en peso (mg) de *G. viviparus* (F1) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

En cuanto a la Longitud total (mm) de los alevines de mexcalpique se observan en la Figura 3, siendo ligeramente mayor (19.99 mm) en los organismos de la dosis de 750 mg en los primeros quince días, seguido del tratamiento control con 19.48 mm, para la dosis de 500 mg fue de 19.21 mm y para la dosis de 1000 mg de 18.78 mm, esta tendencia se mantuvo así a lo largo del experimento, por lo que para el día 75 de manera general la Longitud total varió de entre 6.98 a 7.42 mm en todos los tratamientos siendo el más alto el tratamiento de 500 mg y el más bajo el de 100 mg con 7.06 mm en promedio, y siendo menor en el tratamiento control (6.98 mm).



La Longitud estándar (Figura 4) en la dosis de 500 mg registró el valor más alto durante el experimento, esta dosis fue la más alta comprado con los demás tratamientos, teniendo un incremento desde el inicio hasta el día 75 con un valor de 6.75 mm; mientras que, el control tuvo un valor de incremento de 5.04 mm, seguido de la dosis de 1000 mg con un aumento de 5.44mm, para la dosis de 750 mg los organismos fueron los que menor incremento mostraron con un valor de 3.87 mm en total.

Para la variable del alto de los peces, se observa el comportamiento que tuvo en los 75 días de la dieta, para lo cual, se registró que el tratamiento control y la dosis de 750 mg fueron muy similares en el día quince (4.77 y 4.66 mm) , así mismo las dosis de 500 y 1000 mg fueron similares con valores de 4.30 y 4.21 mm respectivamente, cabe mencionar que a partir del día 30 hasta el día 75 la dosis de 750 mg se guida del control, y de 500 mg de astaxantina registraron valores mayores comparados a la dosis de 1000 mg (Figura 5). Al final del experimento la dosis control tuvo un aumento de 1.94 mm, la dosis de 500 mg fue de 2.16 mm, el grupo de 750 mg de 1.96 mm y por último la dosis de 1000 mg de 2.03 mm.

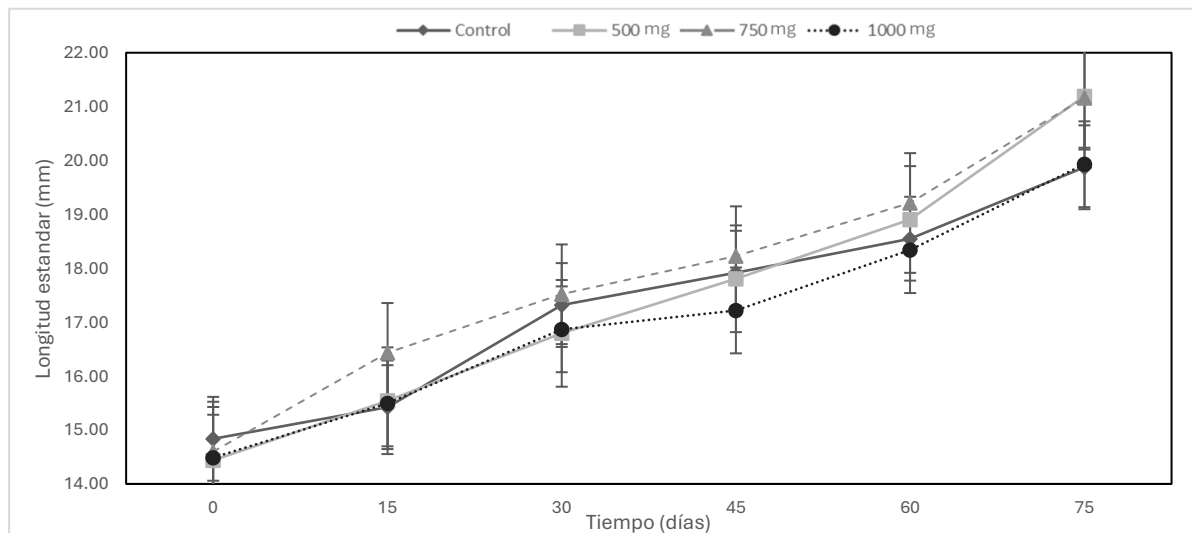


Figura 4. Longitud estándar (mm) de *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

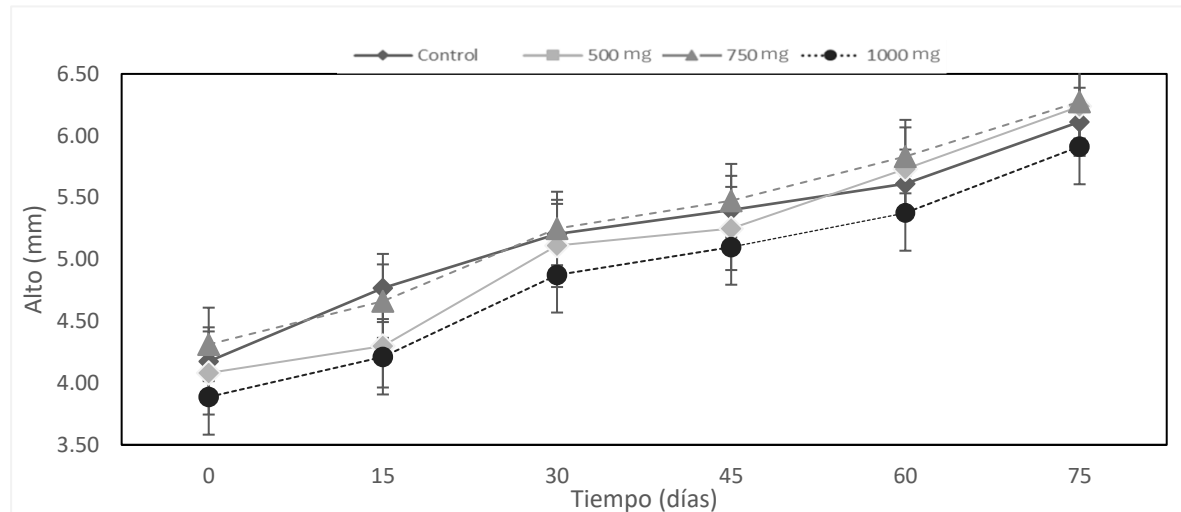
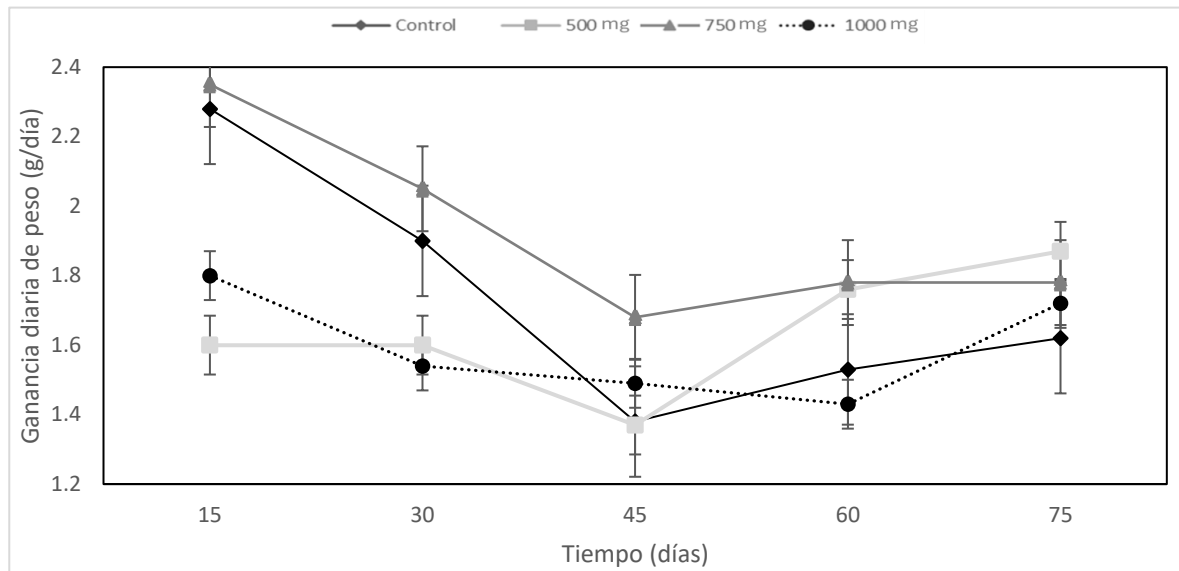


Figura 5. Alto (mm) del *G. viviparus* (F1) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

Como se puede ver en la figura 6, el tratamiento que tuvo una mayor ganancia de peso diaria, hasta el día 60 fue a dosis de 750 mg con 1.78 g/día, luego, seguido del tratamiento de 500 mg presentó mayor ganancia diaria al final del experimento con 1.87 g/día. El control a pesar de que al principio registraba mayor crecimiento (2.28 g/día) al final de los 75 días fue el que obtuvo una menor cantidad de GDP al final del experimento (1.62 g/día), sin embargo, el tratamiento con la GDP más bajo en todo el experimento con 1.37 g/día en el día 45 fue el de 500 mg y el más alto fue el tratamiento de 750 mg con un promedio de 2.35 g/ en el día 15.

En cuanto a la Tasa Específica de Crecimiento (TEC) el tratamiento que inició con un mayor porcentaje de crecimiento fue el tratamiento de 750 mg con 2.73 %/día en los primero quince días, el control tuvo un incremento similar de 2.70%/día en el mismo período, seguido de la dosis de 1000mg con 2.42%/día; mientras que, la menor TEC en ese tiempo fue la dosis de 500 mg con 2.09%/día. Los cuatro tratamientos tuvieron un comportamiento similar ya que la TEC fue disminuyendo durante los días siguientes hasta el día 75 día, al final quien registro la mayor TEC fue la dosis de 500 mg con un 1.43%



/día, posteriormente la dosis de 1000 mg con 1.26 %/día, luego la de 750 mg con 1.11 %/día y al último con 1.02 %/día el control (Figura 7).

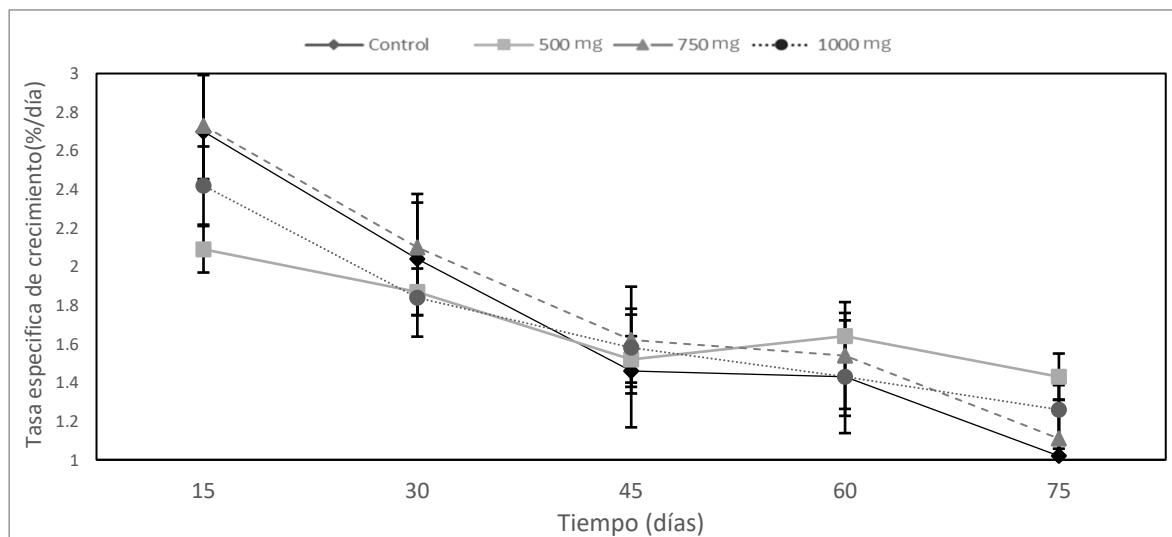


Figura 6. Ganancia de Peso Diaria (g/día) de *G. viviparus* (F1) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

Figura 7. Tasa específica de crecimiento (%/día) de *G. viviparus* (F1) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

Las variables fisicoquímicas de los tratamientos con diferentes dosis de astaxantina se mantuvieron muy similares en todo el experimento lo que refleja que a astaxantina no modifica estos valores en el agua de cultivo de los peces, en lo que

respecta al pH fue homogéneo en todos los acuarios, la temperatura osciló entre 17.7 y 18.3 °C, mientras que el amonio y los nitratos se mantuvieron en 0.1 y 5 mg/L respectivamente, por otra parte los valores de los nitritos fluctuaron entre 0.1 y 0.3 mg/L (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de variables físicas y químicas del agua de los acuarios de la primera generación de alevines de *G. viviparus*

Tratamiento	Temperatura °C	pH	Amonio	Nitratos	Nitritos
Control	18.3 ± 1.6	7.6	0.1 ± 0.3	5 ± 9.1	0.3 ± 0.4
500 mg	17.8 ± 1.7	7.6	0.1 ± 0.7	5 ± 11.7	0.1 ± 0.5
750 mg	17.7 ± 1.6	7.6	0.1 ± 0.5	5 ± 10.9	0.1 ± 0.4
1000 mg	18.1 ± 1.7	7.6	0.1 ± 0.1	5 ± 10.7	0.3 ± 0.4

6.4.2 Alimentación de alevines (F2) de *G. viviparus* con Astaxantina

Una vez que se alcanzó la madurez sexual de la F1 se procedió a su reproducción para la obtención de siguiente generación (F2) para el segundo ensayo de dieta con astaxantina, cabe mencionar que durante la reproducción de la F1 se siguió suministrando la dosis de astaxantina que le correspondía a cada pareja formada, posteriormente se obtuvieron un total de 80 crías las cuales fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos de astaxantina (0, 500, 750 y 1000 mg) con cuatro repeticiones cada uno, el manejo y alimentación fue similar a la primera generación (F1).

En el cuadro 3 se observa los valores obtenidos de las variables reproductivas de la F2, en donde estadísticamente no se observan diferencias en cuanto a los efectos lineales y cuadráticos ($P < 0.05$) en los tratamientos con astaxantina, sin embargo, cabe destacar, que la dosis de 1000 mg fue en donde se registró el mayor incremento de peso en comparación lo demás tratamientos, así mismo en esta dosis la GDP fue alta con 7.4 ± 2.5 gramos por día, y así mismo fue con la TEC. Posteriormente la dosis de 750 mg fue el segundo valor más alto seguido de la dosis de 500 mg y por último el control registro menor peso ganado. Caso contrario a lo que se observó con la F1 en donde la dosis de 750 mg fue donde se registró la mayor ganancia de peso. En cuanto a la Longitud total,

estándar y el alto de igual manera en la dosis de 1000 mg se obtuvieron los valores más altos, seguido de a dosis de 750, 500 mg y control. En lo que respecta a la supervivencia esta fue mejor en la dosis de 1000 mg reportando el 55% de individuos vivos, mientras que, en las dosis de 500 y 750 mg, fue igual y el grupo control registro la mayor mortandad.

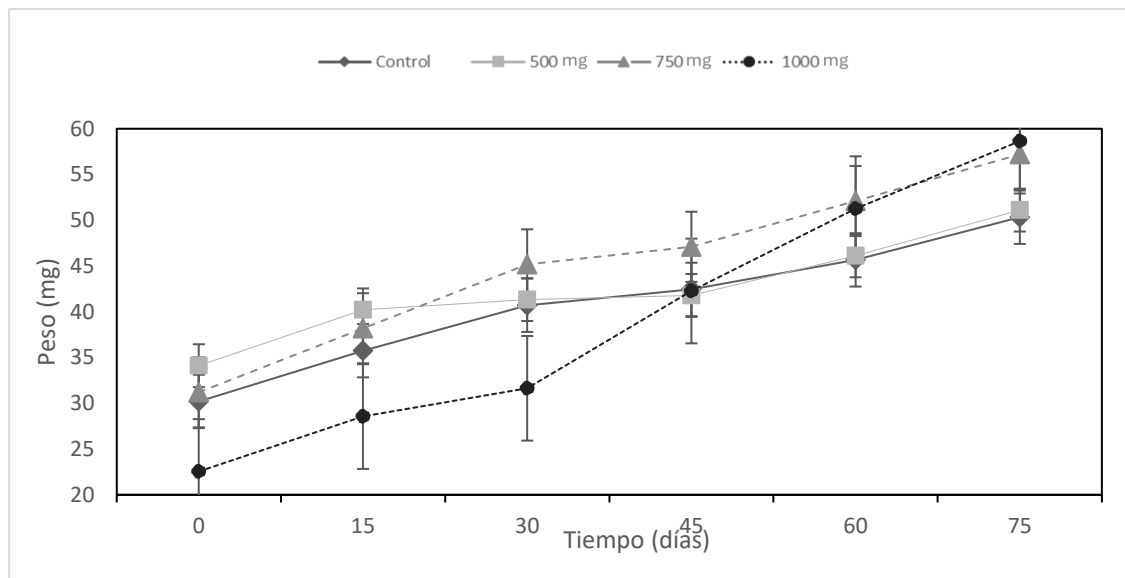
Cuadro 3. Valores promedio del crecimiento de *G. viviparus* (F2) alimentados con diferentes dosis de Astaxantina ($P < 0.05$).

Variables	Tratamientos				P		
	Control	500 mg	750 mg	1000 mg	EEM	L	Q
Inicial							
<i>n</i>	20	20	20	20			
Peso(mg)	30.2 ± 6.93	34.11 ± 8.71	31.2 ± 8.80	22.55 ± 8.86	6.169	0.291	0.302
LT (mm)	13.60 ± 0.96	13.88 ± 1.28	13.79 ± 1.11	12.73 ± 1.30	1.761	0.176	0.564
LE (mm)	11.09 ± 0.87	11.40 ± 1.52	11.71 ± 1.09	10.90 ± 0.90	2.764	0.453	0.361
Alto (mm)	2.65 ± 0.33	2.81 ± 0.45	2.55 ± 0.37	2.41 ± 0.62	2.621	0.283	0.102
Final							
<i>n</i>	9	10	10	11			
Peso (g)	50.33 ± 5.98	51.11 ± 6.48	57.2 ± 5.94	58.64 ± 7.31	5.631	0.917	0.785
LT (mm)	18.20 ± 1.58	18.32 ± 1.55	18.54 ± 1.54	19.04 ± 2.46	2.282	0.652	0.901
LE (mm)	13.72 ± 0.71	13.72 ± 0.84	14.58 ± 1.11	14.64 ± 0.61	6.216	0.996	0.432
Alto (mm)	4.37 ± 0.34	4.80 ± 0.65	4.86 ± 0.29	5.15 ± 0.31	3.535	0.997	0.118
GDP (g/día)	4.7 ± 1.73	4.7 ± 1.77	5.1 ± 1.37	7.4 ± 2.50	0.562	0.218	0.692
TEC (%/día)	0.65 ± 0.25	0.64 ± 0.24	0.56 ± 0.24	0.89 ± 0.28	0.187	0.124	0.775
S (%)	45	50	50	55			

n= Número de mexcalpiques por tratamiento, LT= Longitud Total, LE= Longitud Estandar, GDP= Ganancia diaria de peso, TEC=Tasa Especifica de Crecimiento, S= Supervivencia; Análisis estadístico por Polinomios ortogonales L= Efecto lineal, Q= Efecto cuadrático, EEM=Error estándar de la media.

En la figura 8 se observa el comportamiento del crecimiento en peso de manera quincenal hasta los 75 días de experimento, en donde cabe destacar a partir del día 30 los organismos con la dieta de 1000 mg incrementaron su peso de manera constante

reportando un incremento de 36.09 mg entre el día 0 y al 75, por debajo de este, se



encuentra el tratamiento con 750 mg con un aumento de 26 mg en el transcurso del experimento, posteriormente, los tratamientos control y 500 mg con un aumento de 17.01 mg y 20.13 mg, respectivamente.

Figura 8. Crecimiento en peso (mg) de *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

La Longitud total (Figura 9) más alta registrada a partir del día 45 fue el tratamiento de 1000 mg con un crecimiento de 6.31 mm, seguido por el tratamiento de 750 mg con un aumento de 4.75 mm, los tratamientos de 500 mg y control tuvieron los valores más bajos teniendo con un incremento de 4.44 mm y 4.60 mm cada uno.

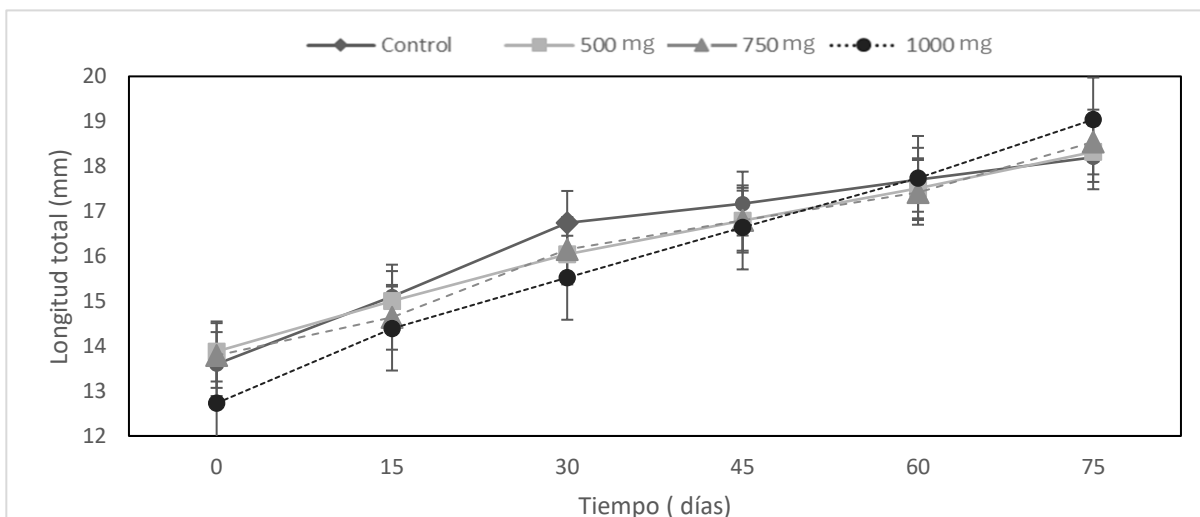


Figura 9. Longitud total (mm) de *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

En la Figura 10, se muestran los datos de la Longitud estándar en donde nuevamente la dosis de 1000 mg fue mayor con un registro de 3.74 mm ganados, a partir del día 45, seguido del tratamiento control y la dosis de 500 mg con un incremento de 2.63 mm y 2.32mm respectivamente, en el caso de la dosis de 750 mg se registró un aumento de 2.87mm.

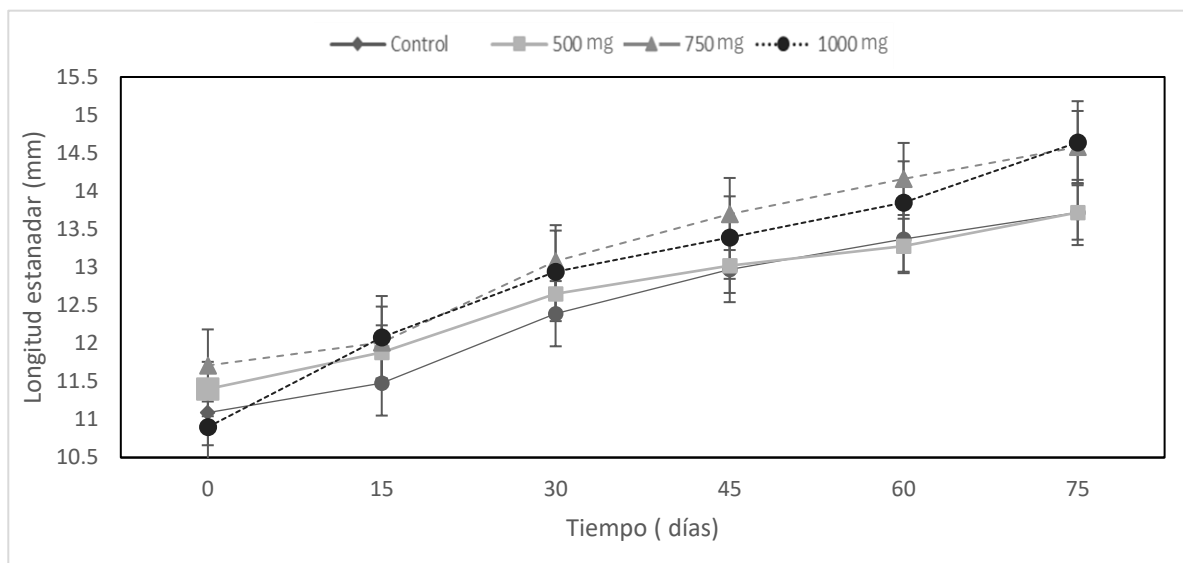


Figura 10. Longitud estándar (mm) del *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

En lo que respecta a la altura (Figura 11) se puede apreciar que, nuevamente, el que registró un valor mayor a partir del día 30 fue el tratamiento de 1000 mg con un crecimiento de 2.75 mm, en segundo lugar, se encuentra el tratamiento de 750 mg. El promedio final más bajo fue el del tratamiento de control con un crecimiento de 1.72 mm y por encima de este se posicionó el tratamiento de 500 mg con un incremento de 2 mm al término del experimento.

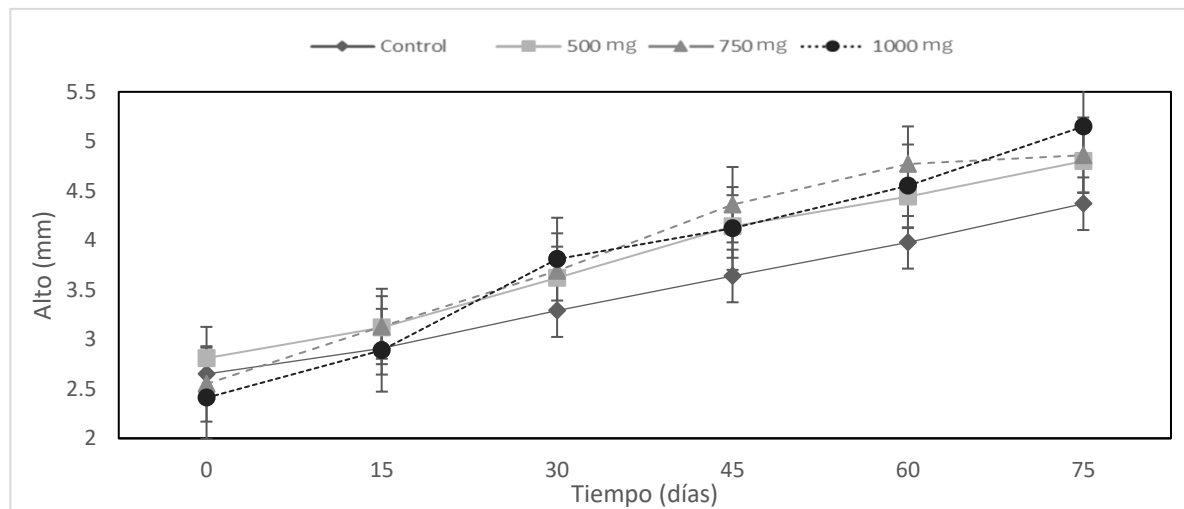
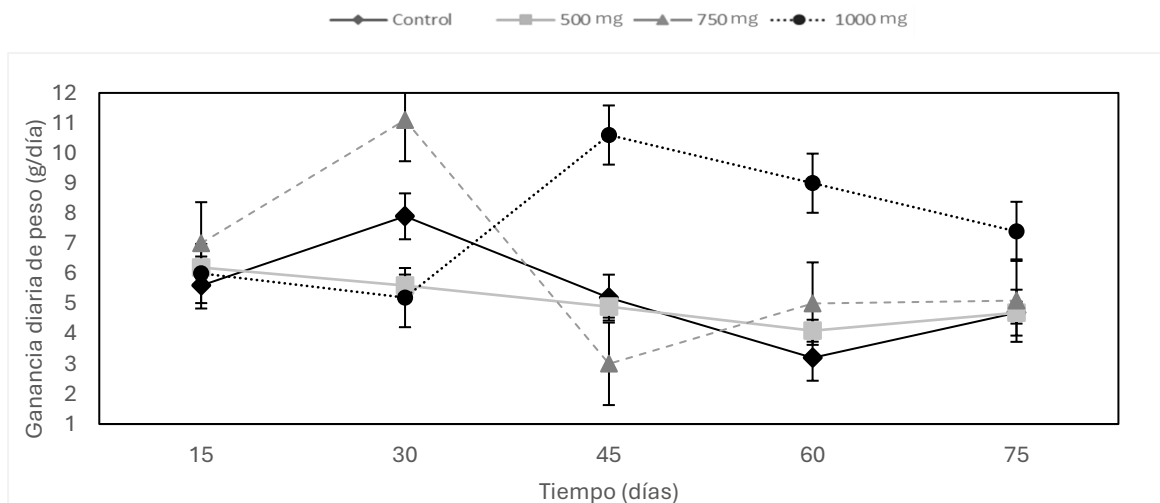


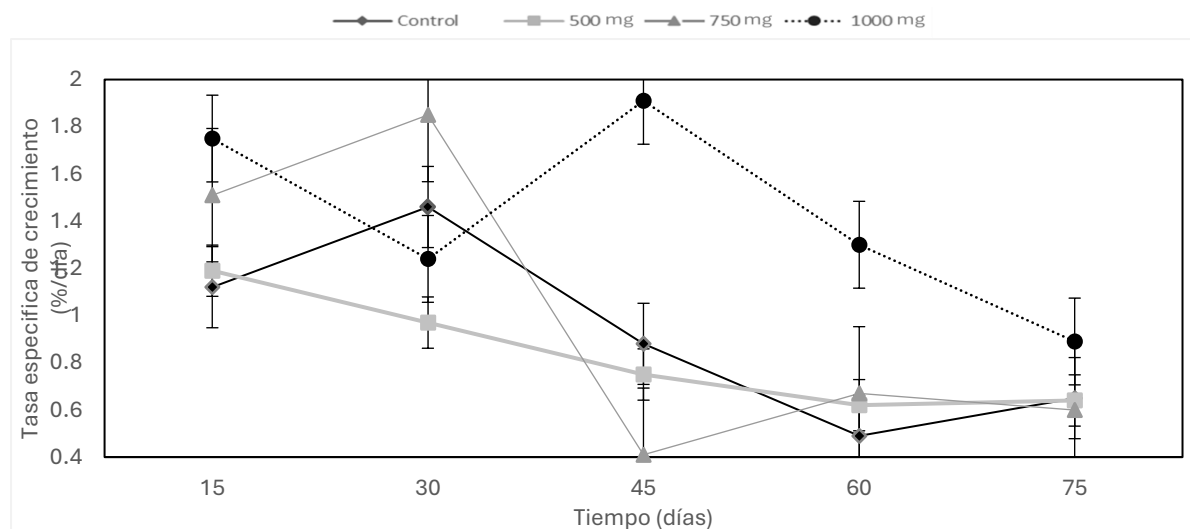
Figura 11. Alto (mm) de *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

La GDP de la segunda generación de *G. viviparus* se presenta en la figura 12 donde se observa el tratamiento de 750 mg a los quince días tuvo una GDP de 7 g/día;



en segundo lugar, el tratamiento de 500 mg con 6.2 g/día; en el lugar 3 se registró con 6 g/día el tratamiento de 1000 mg y por último el control con 5.6 g/día. El tratamiento de 750 mg fue el que registró el mayor crecimiento diario en el día 30 con 11.1 g/día, pero también el más bajo con 3 g/día en el día 45. El que tuvo un mejor comportamiento de GDP fue el tratamiento de 1000 mg manteniéndose por encima de los demás tratamientos a partir del día 45, con un registro de 7.4 g/día al finalizar el experimento y, por el contrario, el control fue el que se situó por debajo de todos con 4.7 g/día al finalizar los 75 días.

Figura 12. Ganancia de Peso Diaria (g/día) de *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en



diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días.

En la figura 13 se observa la Tasa Especifica de Crecimiento de la segunda generación del mexcalpique (F2) en la que se muestra que el tratamiento de 1000 mg empezó y terminó con los valores más altos siendo de 175 %/día en el día 15 y 0.89 %/día para el día 75. El tratamiento de 750 mg registró el valor más bajo de TEC en el día 45 con 0.41 %/día y también al finalizar el experimento (0.6%/día). El grupo control tuvo una TEC de 1.46 %/día en el día 30, pero a partir de ese momento se observó una disminución de la TEC hasta el final del experimento, registrando los valores más bajos de TEC.

Figura 13. Tasa especifica de crecimiento (%) de *G. viviparus* (F2) con la inclusión de una dieta enriquecida con astaxantina en diferentes dosis (0,500,750 y 1000 mg) durante 75 días

Para el caso, de las variables fisicoquímicas se registró que el pH fue similar en todos los tratamientos, mientras que la temperatura fue entre 17.7 y 19.8 °C. El amonio registro valores entre 0.1 a 0.6 mg/L, los nitratos se mantuvieron entre 0.5 y a 25 mg/L. Por último, los nitritos tuvieron un rango entre 0.03 a 1 mg/L

Cuadro 4. Valores de variables físicas y químicas del agua de los acuarios de la F2 de alevines de *G. viviparus*

Tratamiento	Temperatura °C	pH	Amonio	Nitratos	Nitritos
Control	17.7 ± 0.6	7.6	0.6 ± 0.3	25 ± 57.7	1 ± 1.4
500 mg	19.4 ± 2.1	7.6	0.1 ± 1	0.5 ± 37.2	1 ± 1.6
750 mg	19.5 ± 2	7.6	0.1 ± 0.9	25 ± 53.1	1 ± 1.6
1000 mg	19.8 ± 1.8	7.6	0.3 ± 0.1	1.13 ± 44	0.03 ± 1.4

6.4.3 Patrones de coloración de las diferentes generaciones (F1 y F2) de mexcalpique.

Durante la fase experimental de cada generación se realizó el registro fotográfico de diferentes partes del cuerpo de aquellos organismos de mexcalpique a los que se les proporcionaron las dosis de astaxantina, esto para observar si se presentaban cambios de pigmentación, comprándolos entre generaciones. Por lo que, se identificaron ejemplares de las dosis de 500 mg de la generación F1 que fueron los que presentaron un cambio de coloración más notoria, mientras que en la F2 se seleccionó la dosis de 1000 mg (Figura 14). A lo cual se observó que la F2 de *G. viviparus* presento una coloración más temprana con respecto a la F1 ya que con tan solo 2 meses de edad se pudo identificar un cambio de pigmentación ya que todos los organismos de esa dosis presentaron un brillo más vibrante en todo el cuerpo, con respecto la F1 ya que en ellos este cambio de coloración se observó hasta los 3 meses de edad.

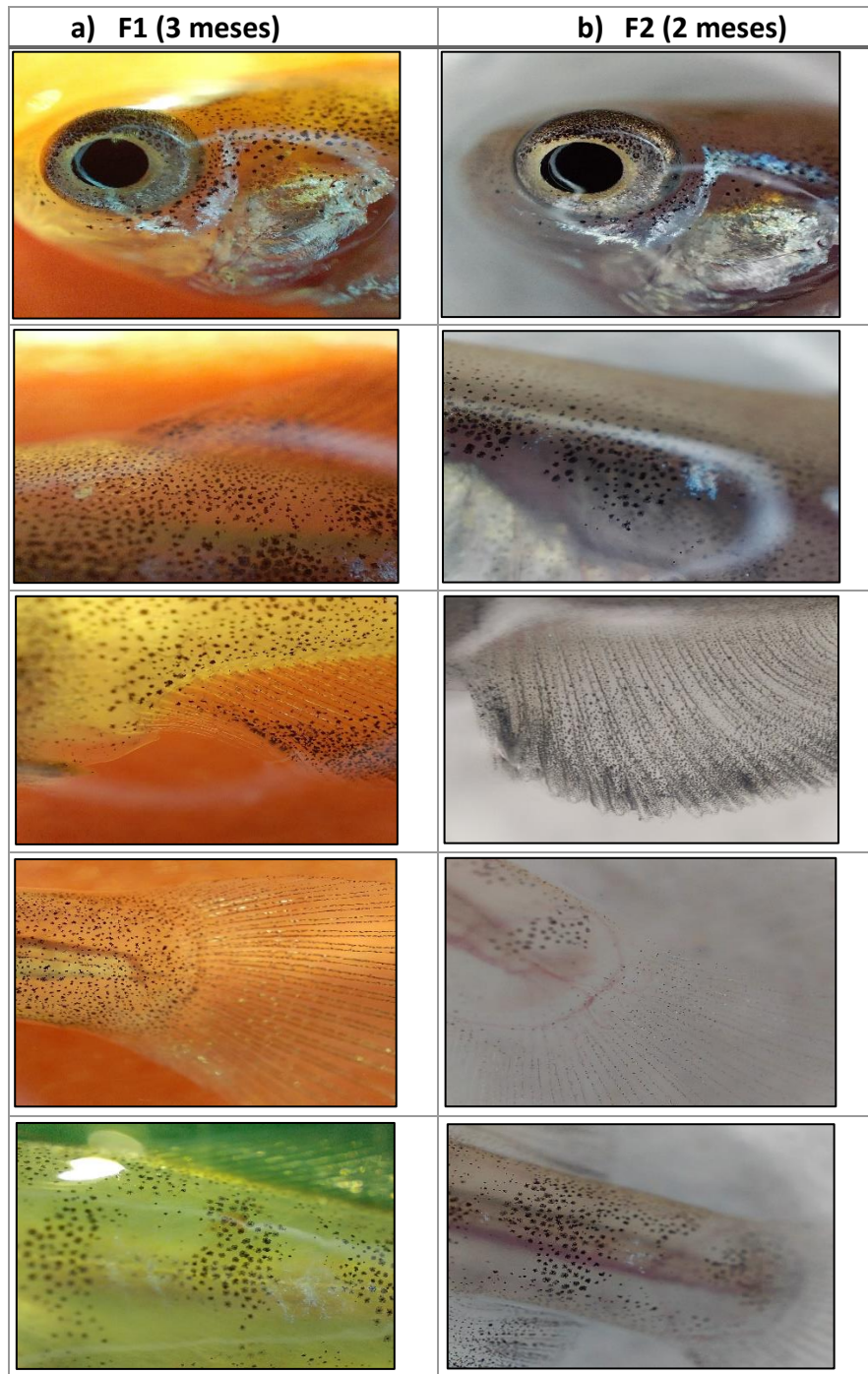


Figura 14. Comparación de pigmentación entre a) F1 (500 mg de astaxantina) y b) F2 (1000 mg) de *G. viviparus* con una dieta enriquecida con astaxantina.

De acuerdo con Meyers, (2000), la astaxantina en los peces tiene dos funciones principales: una es la síntesis de lípidos asociados a la biomembrana de ovocitos, lo que otorga mejor viabilidad de reproducción y la deposición de pigmentos en la piel, dando colores más saturados esto se vio reflejado en el presente experimento con un mayor tallaje de los alevines en cuanto a su peso, longitud total, longitud estándar y alto de los tratamientos de 500 mg para la F1 y la dosis de 1000 mg para la F2 de astaxantina administrada, ambas generación en sus respectivas dosis se observó una maduración sexual y coloración más temprana comparada con los demás tratamientos. Así mismo Ponce *et al.*, (2004) observaron que aquellos organismo que suministraron una dosis de 1000 mg de astaxantina tuvieron una pigmentación mayor que el grupo control. Por otro lado, se observó que en el tratamiento de 1000 mg de astaxantina para ambas generaciones (F1 y F2) las sobrevivencias fueron muy superiores al grupo de control. En este punto, coincide con lo expuesto por Solania, (2015), quien comentó que la inclusión de la astaxantina en la dieta suele tener un efecto positivo en el crecimiento, supervivencia y el desarrollo del sistema inmune de los peces que aquellos que no se les proporciona, ya que ellos reportan una alta mortalidad en aquellos organismos que no se les proporciono el carotenoide.

Debido a lo anterior, se sugiere continuar con más estudios sobre la astaxantina al mostrar resultados positivos con su inclusión en la dieta mejorando su ciclo biológico, lo cual sería un aporte importante para así implementar estrategias que ayuden a su mantenimiento y conservación en cautiverio debido a situación actual que enfrenta esta especie en vida silvestre.

7. Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios

Al concluir los estudios de licenciatura, el egresado cuenta con una formación epistemológica que le permite conocer la realidad a partir de un enfoque científico y metodológico que se construye entorno a la resolución de problemas concretos, por otra parte también tiene una formación científica que abarca hábitos, habilidades, actitudes,

métodos y valores derivados de las visiones en ecología y biología, además el egresado cuenta con la capacidad de generar estrategias de acercamiento al fenómeno u objeto de estudio propio del trabajo profesional con relación a los recursos naturales lo que incluye: inventariar, caracterizar, describir, diagnosticar, evaluar, pronosticar, proyectar y proponer medidas de manejo, otra parte importante del perfil de egreso del biólogo de UAM-X es su capacidad crítico-social, con la cual se establecen las bases éticas para que el alumno valore a los recursos naturales como fenómenos dinámicos que interactúan con las actividades que realiza el hombre para satisfacer sus necesidades. En este sentido el servicio social por actividades relacionadas con la profesión contribuye a consolidar la formación académica del alumno, llevando a la práctica los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera y con el fin de adquirir experiencia (UAM-X, 2023), la cual puede adquirir en el laboratorio de Limnobiología y Acuicultura de la UAM-X ya que es un espacio donde los alumnos de licenciatura y posgrado han podido desarrollar actividades e investigaciones de carácter científico, con énfasis en el conocimiento, conservación y manejo de la fauna silvestre endémica de la Zona Lacustre de Xochimilco, esto se refleja en numerosos trabajos de reportes de servicio social por investigación y tesis de posgrado en donde se han mantenido organismos sujetos a alguna categoría de riesgo.

La Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX) es un ecosistema que aún sostiene especies endémicas como lo son el *Chirostoma jordani*, *Girardinichthys viviparus* y *Ambystoma mexicanum*, cuyas poblaciones silvestres se han visto afectadas por una serie de presiones antropogénicas y ambientales (Bojórquez y Arana, 2014). En específico *Girardinichthys viviparus* conocido comúnmente como Mexcalpique, es una especie que tiene una gran importancia histórica y científica (Miller *et al.*, 2009), actualmente debido a la fragmentación de su hábitat, introducción de especies exóticas, la explotación para venta como pez forrajero y su utilización en la preparación de diferentes platillos en la gastronomía mexicana han ocasionado que su distribución se encuentre reducida, ubicándola en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como una especie en peligro de extinción (Bautista-Hernández *et al.*, 2008, DOF, 2010, Vázquez-Silva *et al.*,

2018). Es por ello, que es de suma importancia generar investigaciones que aporten información sobre esta especie y las condiciones en las que se encuentran sus poblaciones y en general del ecosistema, una parte fundamental de la generación de esta información es la que lleva a cabo es el proyecto “Limnobiología y Aspectos Acuícolas de la Zona Lacustre de Xochimilco, Ciudad de México” el cual está orientado en la caracterización de los cuerpos de agua y del manejo de fauna silvestre endémica de la Zona Lacustre, todo esto para el aprovechamiento, conservación y/o preservación de los recursos acuáticos prestando especial atención a aquellas especies de interés ecológico y socioeconómico o que se encuentran categorizadas dentro de algún nivel de riesgo en la normatividad nacional e internacional. Por medio de este proyecto se genera información valiosa del mexcalpique sobre su reproducción y mantenimiento ya que es escasa y con ello coadyuvar en la conservación y uso racional de la especie para su mantenimiento en cautiverio.

8. Referencias

- Bautista-Hernández, C., S. Monks, & G. Pulido-Flores. 2008. Registro helmintológico de *Girardinichthys viviparus* (Bustamante, 1837) del Lago de Tecocomulco, Hidalgo, México. Universidad del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. p. 77-91.
- Bojórquez-Castro, L. y Arana-Magallón, F. 2014. Peces de Xochimilco. Su ambiente y situación actual. (Eds.) Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco núm. 13 México. IBS: 978-607-28-0173-8.
- Christiansen, R. & O.J. Torrissen. 1996. Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed different dietary levels of astaxanthin. Juveniles: Aquaculture Nutrition 2: 55-62.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial. 30:1-77.
- Domínguez-Domínguez, O, & G. Pérez-Ponce de León. 2007. Los Goodeidos, peces endémicos del centro de México. CONABIO. *Biodiversitas*. 75: 12-15.

- IUCN. (2023). The IUCN Red List of Threatened Species [<http://www.iucnredlist.org>].
- Gaspar-Dillanes, M. T. (2005). La ictiología en México. Un punto de vista de la sociedad ictiológica mexicana A.C. (SIMAC). *Revista Digital Universitaria*, 6(10), 1-6. ISSN: 1067-6079. Recuperado el 11 de noviembre de 2023 https://www.ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/987/oct_art101.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., & Guzmán-Santiago, J. L. 2013. Occurrence of the fish *Girardinichthys viviparus* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) in an urban lake at Mexico City. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 5(1), 89-95. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/191/117>
- Hai, N. V., N. Buller & R. Fotedar. 2010. Encapsulation capacity of *Artemia* nauplii with customised probiotics for use in the cultivation of western king prawns (*Panaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896). *Aquatic Research* 41: 893-903.
- Meléndez-Martínez, Antonio J, Vicario, Isabel M, & Heredia, Francisco J. 2007. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(2), 109-117. Recuperado en 04 de diciembre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000200002&lng=es&tlng=es.
- Meyers, S.P. 2000. Papel del carotenoide astaxantina en nutrición de especies acuáticas. *Avances en Nutrición Acuícola* IV. 473-491.
- Miller, R. R., Minckley, W. L., Soto, S., y Jacobotr, J. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México (CONABIO), Sociedad Ictiológica Mexicana, AC. ISBN: 978-607-7607-20-5.
- Montesino González, L. 2013. Edad y crecimiento de *Girardinichthys viviparus* en un lago urbano de la Alameda Oriente, D.F. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_montesino_gonzalez.pdf
- Navarrete-Salgado, N.A., Contreras-Rivero, G., Elías-Fernández, G. & Rojas-Bustamante, M.L. 2004. Situación de *Girardinichthys viviparus* (especie amenazada) en los Lagos de Chapultepec, Zumpango y Requena. *Revista de Zoología*, (15), 1-6.
- Navarrete-Salgado, N. A., Contreras-Rivero, G. y Elías-Fernández, G. 2003. Abundancia y estado sanitario del Mexclapique (*Girardinichthys viviparus* Bustamante) en cuerpos de

agua del centro de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9 (2): 143-146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913142006>

Robaina, L. E., García Romero, J., Ginés Ruiz, R., & Izquierdo López, M. 2017. Carotenoides en piensos para acuicultura y calidad de peces de cultivo.

Sall, J., A. Lehman, M. Stephens, and L. Creighton. 2012. JMP® start statistics: a guide to statistics and data analysis. 5th edn. (SAS Institute Inc. Cary, 35 NC).

Solania M. B. (2015) Evaluación del efecto pigmentante y nutricional del *Haematococcus pluvialis* como bioagente aplicado en la dieta de truchas en el criadero C.E.D.E.PEZ PUNO 2014. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ponce Palafox, J. T., Arredondo Figueroa, J. L., & Vernon Carter, E. J. (2004). Pigmentación de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) con carotenoides de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) en comparación con la astaxantina. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3(2),219-225. [Fecha de Consulta 21 de Octubre de 2024]. ISSN: 1665-2738. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62030207>

Quintana, L.A., Hurtado, O.M.A., Hernández, C., y Mechetnov, E.P. (2018). Carotenoides. ¿Qué son y para qué sirven? *Revista Ciencia*. 69(4), 1-6

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). 2023. Plan y Programas de estudios. Licenciatura en Biología.

Vázquez-Silva G., Arana Magallón, F.C., Ojeda Galindo, D.M., y López de la Rosa A.K. 2018. Reproducción *ex situ* del mexcalpique *Girardinichthys viviparus* (PISCES: GOODEIDAE) en diferentes temperaturas para fines de acuicultura ornamental. En: *Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México*, Editores José Herrera-Camacho et al.-Primera edición-Morelia, Michoacán, México (2018) pp.1009-1014.

- Sall, J., A. Lehman, M. Stephens, and L. Creighton. 2012. JMP® start statistics: a guide to statistics and data analysis. 5th edn. (SAS Institute Inc. Cary, 35 NC).
- Solania M. B. (2015) Evaluación del efecto pigmentante y nutricional del *Haematococcus pluvialis* como bioagente aplicado en la dieta de truchas en el criadero C.E.D.E.PEZ PUNO 2014. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
- Ponce Palafox, J. T., Arredondo Figueroa, J. L., & Vernon Carter, E. J. (2004). Pigmentación de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) con carotenoides de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) en comparación con la astaxantina. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3(2), 219-225. [Fecha de Consulta 21 de Octubre de 2024]. ISSN: 1665-2738. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62030207>
- Quintana, L.A., Hurtado, O.M.A., Hernández, C., y Mechetnov, E.P. (2018). Carotenoides. ¿Qué son y para qué sirven? *Revista Ciencia*. 69(4), 1-6
- Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). 2023. Plan y Programas de estudios. Licenciatura en Biología.
- Vázquez-Silva G., Arana Magallón, F.C., Ojeda Galindo, D.M., y López de la Rosa A.K. 2018. Reproducción *ex situ* del mexcalpique *Girardinichthys viviparus* (PISCES: GOODEIDAE) en diferentes temperaturas para fines de acuicultura ornamental. En: *Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México*, Editores José Herrera-Camacho et al.-Primera edición-Morelia, Michoacán, México (2018) pp.1009-1014.

9. Visto bueno



Dra. Gabriela Vázquez Silva
No. Económico 30288



Biol. Ana Karen López de la Rosa
Céd. Prof. 12194410